

# Tesla Motors - Technik eines Elektroportwagens - eine Neuerfindung des Automobils -

Dirk Winkel

Philipps-Universität Marburg

5. Juli 2007

# Inhalt

- 1 Ein Auto erfinden...
- 2 Der Antrieb
  - Der Motor
- 3 Der Energiespeicher
- 4 Die Karrosserie
- 5 Ergebnis
  - Technische Daten
  - Der „Erfinder“
- 6 Historische Abschlussbemerkungen
- 7 Quellen

# Inhalt

- 1 Ein Auto erfinden...
- 2 Der Antrieb
  - Der Motor
- 3 Der Energiespeicher
- 4 Die Karrosserie
- 5 Ergebnis
  - Technische Daten
  - Der „Erfinder“
- 6 Historische Abschlussbemerkungen
- 7 Quellen

# Inhalt

- 1 Ein Auto erfinden...
- 2 Der Antrieb
  - Der Motor
- 3 Der Energiespeicher
- 4 Die Karrosserie
- 5 Ergebnis
  - Technische Daten
  - Der „Erfinder“
- 6 Historische Abschlussbemerkungen
- 7 Quellen

# Inhalt

- 1 Ein Auto erfinden...
- 2 Der Antrieb
  - Der Motor
- 3 Der Energiespeicher
- 4 Die Karrosserie
- 5 Ergebnis
  - Technische Daten
  - Der „Erfinder“
- 6 Historische Abschlussbemerkungen
- 7 Quellen

# Inhalt

- 1 Ein Auto erfinden...
- 2 Der Antrieb
  - Der Motor
- 3 Der Energiespeicher
- 4 Die Karrosserie
- 5 Ergebnis
  - Technische Daten
  - Der „Erfinder“
- 6 Historische Abschlussbemerkungen
- 7 Quellen

# Inhalt

- 1 Ein Auto erfinden...
- 2 Der Antrieb
  - Der Motor
- 3 Der Energiespeicher
- 4 Die Karrosserie
- 5 Ergebnis
  - Technische Daten
  - Der „Erfinder“
- 6 Historische Abschlussbemerkungen
- 7 Quellen

# Inhalt

- 1 Ein Auto erfinden...
- 2 Der Antrieb
  - Der Motor
- 3 Der Energiespeicher
- 4 Die Karrosserie
- 5 Ergebnis
  - Technische Daten
  - Der „Erfinder“
- 6 Historische Abschlussbemerkungen
- 7 Quellen



## Ein Auto erfinden...

### Was braucht ein Auto?

- 1 einen Antrieb
- 2 Bremsen
- 3 einen Energiespeicher
- 4 einen Karosserie
- 5 Lampen, Steuerung, etc.

# Der Antrieb

Es gibt 4 grundlegend unterschiedliche Antriebstechniken:

- 1 Rückstoßantrieb (Rakete)
- 2 Turbine (Flugzeug)
- 3 Verbrennungsmotor (Schiff)
- 4 Elektromotor (Modellbau)

Welche Technologie soll in unserem Auto Verwendung finden?

# Rückstoßantrieb

## Vorteile

- sehr hohe Leistungsdichte
- keine Umwucht

## Nachteile

- sehr hoher Schadstoffausstoß
- minimaler Wirkungsgrad  
→ immense  
Wärmeentwicklung  
→ immenser Verbrauch
- immense Lärmentwicklung

→ Nicht im Geringsten für Autos geeignet

# Rückstoßantrieb

## Vorteile

- sehr hohe Leistungsdichte
- keine Umwucht

## Nachteile

- sehr hoher Schadstoffausstoß
- minimaler Wirkungsgrad  
→ immense  
Wärmeentwicklung  
→ immenser Verbrauch
- immense Lärmentwicklung

→ Nicht im Geringsten für Autos geeignet

# Turbine

## Vorteile

- hohe Leistungsdichte
- keine Umwucht

→ Nicht für Autos geeignet

## Nachteile

- hoher Schadstoffausstoß
- geringer Wirkungsgrad  
→ hohe Wärmeentwicklung  
→ hoher Verbrauch
- immense Lärmentwicklung

# Turbine

## Vorteile

- hohe Leistungsdichte
- keine Umwucht

→ Nicht für Autos geeignet

## Nachteile

- hoher Schadstoffausstoß
- geringer Wirkungsgrad  
→ hohe Wärmeentwicklung  
→ hoher Verbrauch
- immense Lärmentwicklung

# Verbrennungsmotor

## Vorteile

- moderater Schadstoffausstoß
- moderater Wirkungsgrad
- mobil einsetzbarer Kraftstoff

→ Bedingt für Autos geeignet

## Nachteile

- komplexer Aufbau
- teuer
- Verschleißanfällig
- geringe Leistungsdichte  
→ schwer  
→ mittlerer Verbrauch
- Lärmentwicklung
- Emissionen

# Verbrennungsmotor

## Vorteile

- moderater Schadstoffausstoß
- moderater Wirkungsgrad
- mobil einsetzbarer Kraftstoff

→ Bedingt für Autos geeignet

## Nachteile

- komplexer Aufbau
- teuer
- Verschleißanfällig
- geringe Leistungsdichte  
→ schwer  
→ mittlerer Verbrauch
- Lärmentwicklung
- Emissionen



# Elektromotor

## Vorteile

- „kein“ Schadstoffausstoß
- sehr hoher Wirkungsgrad
- hohe Leistungsdichte  
→ geringes Gewicht
- einfacher Aufbau  
→ preisgünstig

→ Bedingt für Autos geeignet

## Nachteile

- schwierige  
Energiespeicherung
- langer Tankprozess

# Elektromotor

## Vorteile

- „kein“ Schadstoffausstoß
  - sehr hoher Wirkungsgrad
  - hohe Leistungsdichte  
→ geringes Gewicht
  - einfacher Aufbau  
→ preisgünstig
- Bedingt für Autos geeignet

## Nachteile

- schwierige  
Energiespeicherung
- langer Tankprozess

# Vergleich der geeigneten Antriebsarten

## Verbrennungsmotor

- komplex → Teuer, fehleranfällig
- Schadstoffausstoß
- schwer
- ineffizient
- nur ein Rohstoff als Treibstoff
- **Aber:**
- mobiler Treibstoff
- leichtes Tanken

## Elektromotor

- schwierige Treibstoffspeicherung
- langsamer Tankvorgang
- **Aber:**
- Preisgünstig
- beliebige Energiequelle
- fehlerresistent
- leise
- großer Drehzahlbereich
- keine Emissionen

## Vergleich der geeigneten Antriebsarten

### Verbrennungsmotor

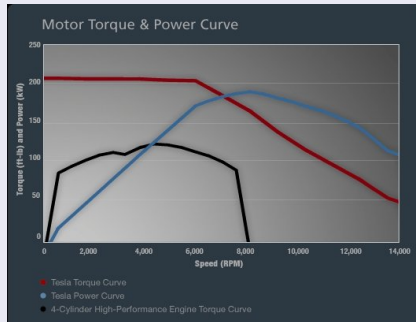
- komplex → Teuer, fehleranfällig
- Schadstoffausstoß
- schwer
- ineffizient
- nur ein Rohstoff als Treibstoff
- **Aber:**
- mobiler Treibstoff
- leichtes Tanken

### Elektromotor

- schwierige Treibstoffspeicherung
- langsamer Tankvorgang
- **Aber:**
- Preisgünstig
- beliebige Energiequelle
- fehlerresistent
- leise
- großer Drehzahlbereich
- keine Emissionen

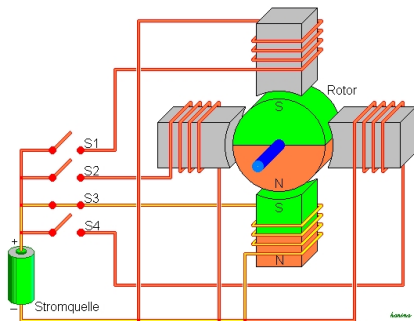
# Drehmomentkurve

Verlauf der Drehmomentes in Abhängigkeit der Drehzahl im Vergleich zu einem Verbrennungsmotor



## Der Motor

Die zur Zeit effizientesten Elektromotoren sind *Brushlessmotoren*, bei denen als Rotor ein starker Permanentmagnet dient. Die Spulen, die mit ihrem Feld den Rotor antreiben, sind außen im Gehäuse des Motors angebracht. Die Stärksten Permanentmagnete sind die erst seit wenigen Jahren auf dem Markt befindlichen *Neodym-Magnete* (NdFeB).



# Ergebnis

→ Der Elektroantrieb ist optimal, wenn das Problem der Energiespeicherung lösbar ist.

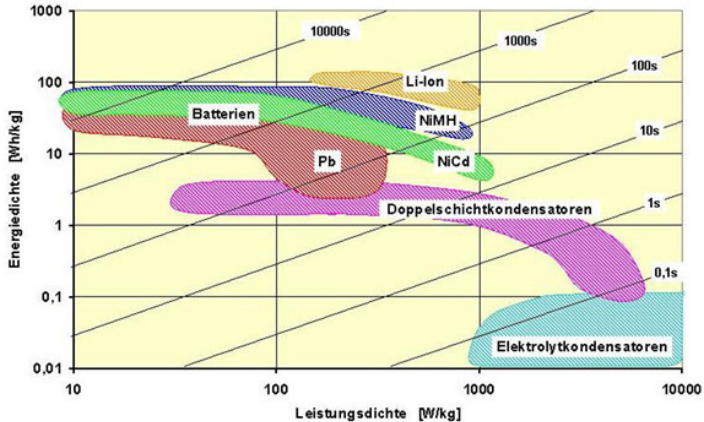
# Der Energiespeicher

Möglichkeiten für die Energiespeicherung:

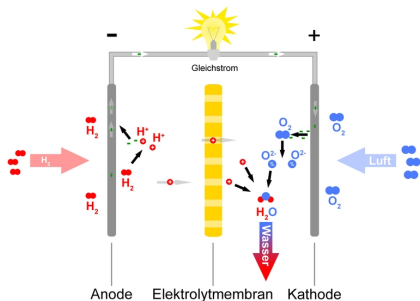
- Kondensator
- Wasserstoff (Brennstoffzelle)
- Nickel-Cadmium-Akku
- Nickel-Metallhydrid-Akku
- Lithium-Ionen-Akku
- Lithium-Polymer-Akku
- Bleiakku



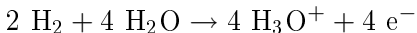
# Vergleich unterschiedlicher Energiespeicher



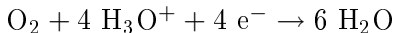
# Brennstoffzelle



Anode:



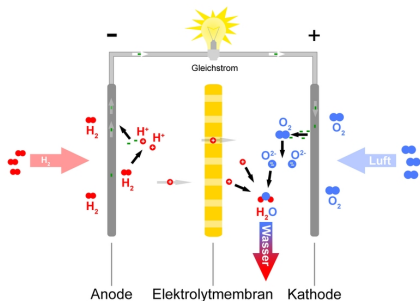
Kathode:



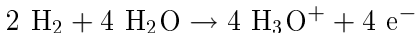
Probleme:

- Wasserstoffspeicherung
- Eisbildung bei kalten Temperaturen
- Abwärme (Wirkungsgrad 62/80%) zerstört Zellen)
- Kosten (z.B. Platinkatalysatoren)
- Gewicht
- Raumbedarf
- Brennstoffgewinnung

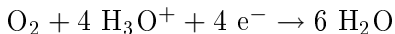
# Brennstoffzelle



Anode:



Kathode:

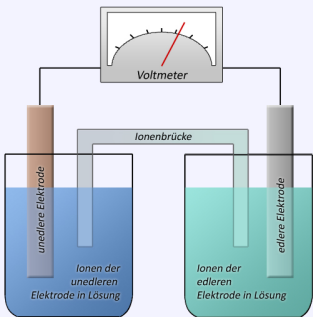


Probleme:

- Wasserstoffspeicherung
- Eisbildung bei kalten Temperaturen
- Abwärme (Wirkungsgrad 62/80%) zerstört Zellen)
- Kosten (z.B. Platinkatalysatoren)
- Gewicht
- Raumbedarf
- Brennstoffgewinnung

# Akkus

## Arbeitsweise von Batterien und Akkumulatoren



## Arbeitsweise von Batterien und Akkumulatoren

Unterschiedliche Ionisationsenergien führen dazu, dass auf der linken Seite weitere Ionen in Lösung gehen können, während auf der rechten die Ionen an der Elektrode abgeschieden werden. Die Ionenbrücke sorgt für den für den Stromfluss nötigen Ladungsaustausch.

## Akkutypen im Vergleich

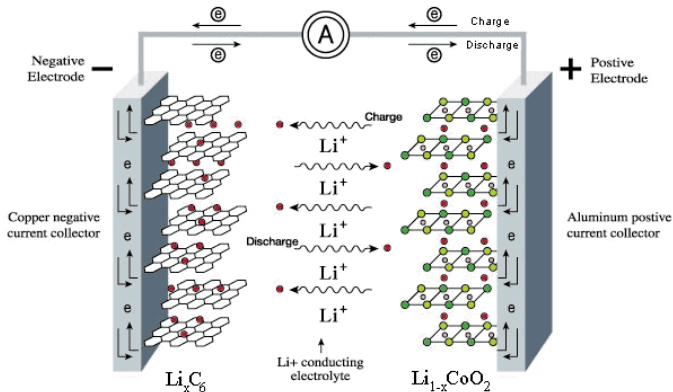
	NiCd	NiMH	Li-Ion	Li-Poly	Pb
Monatl. Selbstentladung	20%	60%	30%	30%	5%
Ladezyklen (C=80%)	1200	1000	400	400	1500
<i>(Keine eindeutigen Zahlen)</i>					
Lebensdauer [Mon.]	30	24	24	24	60
Wirkungsgrad [%]	70	70	80	80	65
Energiedichte (Masse)	1	2-3	3-3,7	4	0,7
Memory-effekt	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Giftig	Sehr	Nein	Nein	Nein	Ja

**Geeignet: Li-Ion, Li-Polymer; NiMH hat eine deutlich geringere Ladungsdichte**

## Die Lithium-Zelle

Lithium-Ionen- und Lithium-Polymerzellen arbeiten nach dem selben Prinzip, lediglich das Elektrolyt ist bei Li-Ion flüssig und bei Li-Polymer Gelartig fest. Damit hat die Li-Polymerzelle den Vorteil in nahezu jeder Form produziert werden zu können. Jedoch sind diese teurer.

# Schema einer Lithiumzelle



Lithiumionen werden in einer dreidimensionalen Struktur eingelagert.

## Lebensdauerbegrenzung

- Dendritenbildung → innerer Kurzschluss
- Umstrukturierung → weniger Ionen zur Verfügung
- Tiefentladung → Passivierung der pos. Elektrode durch Ablagerungen aus dem Elektrolyt (S)
- Verwendung bei tiefer Temperatur (hoher Innenwiderstand)
- **Hohe Temperatur** → Oxidation der Elektroden



# Ergebnis

Ein Lithium-Ionen-Akku (bestehend aus vielen Zellen) kann als Energiespeicher verwendet werden. Dabei sollte, um eine hohe Zyklenfestigkeit zu garantieren, auf eine mittlere Betriebstemperatur geachtet werden.

# Die Karosserie

Gewünschte Eigenschaften:

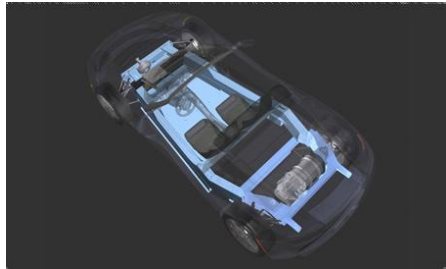
- Rahmen, der Crashnormen gerecht wird
- geringes Gewicht
- hohe Festigkeit (Verwindung, Fahrgeräusche)
- gute aerodynamische Eigenschaften, Design

## Der Rahmen

Notwendig:

- hohe Steifigkeit
- geringes Gewicht
- Verformung & Energieaufnahme bei Crash
- Aufnahme der

Aluminium ist hier optimal

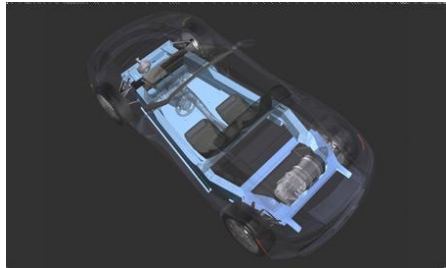


## Der Rahmen

Notwendig:

- hohe Steifigkeit
- geringes Gewicht
- Verformung & Energieaufnahme bei Crash
- Aufnahme der

Aluminium ist hier optimal



## Außenhülle

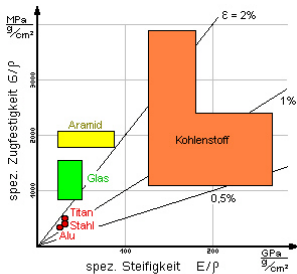


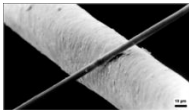
Bild: Spezifische Kennwerte von Faserwerkstoffen  
in Anlehnung an des Script "Leichtbau mit Faserver-  
bundwerkstoffen" von Dr.-Ing. H. Funke, 2002

Aluminium und Magnesium hat etwa die 3- bzw. 2-fache Dichte wie Faserverbundwerkstoffe. Gleichzeitig ist die Verarbeitung von Magnesium sehr schwierig.

# Kohlefasern

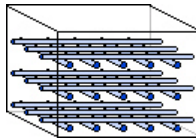
## Herstellung:

- organischer Grundstoff
- Verstreckung
- Ausgasen von nicht-Kohlenstoff
- Graphitierung (durch Temp  $>1800^{\circ}\text{C}$ )



## Verarbeitung:

- Verwebung
- Verbindung durch Matrixwerkstoff



Ein Auto erfinden...  
Der Antrieb  
Der Energiespeicher  
Die Karrosserie  
**Ergebnis**  
Historische Abschlussbemerkungen  
Quellen

Technische Daten  
Der „Erfinder“

## Das fertige Fahrzeug...



Ein Auto erfinden...  
Der Antrieb  
Der Energiespeicher  
Die Karosserie  
**Ergebnis**  
Historische Abschlussbemerkungen  
Quellen

Technische Daten  
Der „Erfinder“

## ...in seiner Karosserie





## Technische Daten

### Tesla-Motors



$P[kw(Ps)]$ :	185 (248)
Motor:	4-Pol 3-P
$t[s](0 - 100 \frac{km}{h})$ :	$\sim 4,2$
$V_{max}[\frac{km}{h}]$ :	220
Preis [US- $\$$ ]:	98.000

### Porsche Boxter



$P[kw(Ps)]$ :	180 (245)
Motor:	2,7L 6-Zyl.
$t[s](0 - 100 \frac{km}{h})$ :	6,1
$V_{max}[\frac{km}{h}]$ :	258
Preis [€]:	45.000

## Technische Daten

### Tesla-Motors



$P[kw(Ps)]$ :	185 (248)
Motor:	4-Pol 3-P
$t[s](0 - 100 \frac{km}{h})$ :	$\sim 4,2$
$V_{max}[\frac{km}{h}]$ :	220
Preis [US- $\$$ ]:	98.000

### Porsche Boxter



$P[kw(Ps)]$ :	180 (245)
Motor:	2,7L 6-Zyl.
$t[s](0 - 100 \frac{km}{h})$ :	6,1
$V_{max}[\frac{km}{h}]$ :	258
Preis [€]:	45.000

## Der „Erfinder“

Martin Eberhardt



- Californier, 2 Kinder
- Hobbies: Hängegleiten, Paragleiten, Bergfahrten
- Elektroingenieur (Master) und Computerentwickler (Bachelor)
- 3. erfolgreiche Firmengründungen (2 verkauft; 3.: Tesla-Motors)
- mitfinanzierung von Tesla-Motors: PayPal-Gründer, Google-Gründer, eBay-Gründer
- ...4-sitziges Auto in Entwicklung

## Historische Abschlussbemerkungen

Elektroautos in der Geschichte:

- Bis zur Jahrhundertwende keine Entscheidung getroffen
- Erstmals  $100 \frac{km}{h}$  mit Elektroauto
- Wahl für Verbrenner wegen hohem Batteriegewicht



## Quellen

- <http://www.tesla-motors.com>
- <http://www.zeit.de/2007/13/Elektroauto>
- <http://www.prova.de/archiv/2006/00-artikel/0109-vw-ht-brennstoffzelle/index.shtml>
- div. Wikipedia.de & -.com - Artikel
- Halaczek, Radecke: *Batterien und Ladekonzepte*. Franzis Verlag. Feldkirchen 1996
- <http://www.ict.fhg.de/deutsch/scope/ae/ion.html>
- <http://www.aktuelle-wochenschau.de/2006/woche44b/wochenschau44b.html>
- <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/bau/0810281.htm>
- <http://mb-s1.upb.de/E-MechLAB/Verbundwerkstoff-Mechanik/EVW/Aufbau/Fasern/Faserverstoffe/>